

## Lagrange 表現型の 2 車線交通流 CA 交通流モデル

中日本自動車短大 福井 稔 龍谷大学・理工学部 西成 活成  
愛知淑徳大・コミュニケーション学部 石橋 善弘

### 1 はじめに

ここでは、西成らの Lagrange 表現で表した 1 次元バーガース CA 交通流モデル[1,2]を 2 車線モデルに拡張した。西成・高橋 [3,4]は、超離散の方法[5]を使って、交通流を表すバーガース方程式をルール 184 CA モデルに変換できること示し、連続方程式で表されている物理的モデルを離散モデルで表す道を開いた。超離散法によると、バーガース方程式は、バーガース CA (BCA) [4,6]に変換される。

$$U_j^{t+1} = U_j^t + \min(U_{j-1}^t, L - U_j^t) - \min(U_j^t, L - U_{j+1}^t) \quad (1)$$

ここで、 $U_j^t$  は、時間  $t$  に  $j$  セルに存在する車の数である。この BCA は、交通流を Euler 表現で表したものであり、他のもう一つの表現は、Lagrange 表現であり、交通流の追従モデルで使われている表現である。西成らは、BCA を Lagrange 表現に変換する道を開いた [1,7]。それは、

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \min(V_{\max}, x_{i+S}^t - x_i^t - S) \quad (2)$$

と表される。ここで、 $x_i^t$  は  $i$  番目の車の時刻  $t$  における位置を表し、 $V_{\max}$  は最大車速度である。式 (2) が持っている物理的モデルとしての最大の特徴は、予測パラメータ  $S$  と車の最大速度  $V_{\max}$  を含んでいる点である。予測パラメータ  $S$  は、運転者が  $S$  台前の車の行動を見ながら運転するという、現実の運転行動の 1 つをモデルとして自然に取り入れていることである。この前の論文では、この Lagrange 表現の BCA に、slow-to-acceleration 効果[2]を加えた拡張モデルをつくり、その流れの基本図、準安定分枝の出現とその安定性を議論した。slow-to-acceleration 効果とは、車の速度は、現在の車間距離だけでなく、過去の車間距離によって決められるとしている。即ち、車の慣性効果を取り入れている。ここでは、そのモデルを 2 車線道路に拡張、適用し、車線変更ルールの違いが交通流に及ぼす効果を調べた。

### 2 Lagrange 表現型の 2 車線 BCA 交通流モデル

2 車線化の場合、それぞれの車線上の進行ルールと車線変更のルールを決めねばならない。ここでは、前進のルールは、1 車線の場合[1,2]をそのまま適応する。最高速度  $V_{\max} = 5$ 、前方予想パラメーター  $S = 2$ 、slow-to-acceleration パラメーター  $D = 2$  で

Fukui-Ishibashi model[8]従って進む場合を考えた。 2車線 (A,B レーン) のそれぞれのレーン上の前進ルールは、1車線の場合と同じで、A レーンについては、

1 Accerelation

$$V_{Ai}^{(1)} = V_{max} \quad \text{Fukui-Ishibashi model} \quad (3)$$

2 Slow-to-acceleration

$$V_{Ai}^{(2)} = \min(V_{Ai}^{(1)}, X_{Ai+2}^{t-1} - X_{Ai}^{t-1} - 2) \quad (4)$$

3 Deccelaration due to other cars

$$V_{Ai}^{(3)} = \min(V_{Ai}^{(2)}, X_{Ai+2}^t - X_{Ai}^t - 2) \quad (5)$$

4 Avoidance of collision

$$V_{Ai}^{(4)} = \min(V_{Ai}^{(3)}, X_{Ai+1}^t - X_{Ai}^t - 1 + V_{Ai+1}^{(3)}) \quad (6)$$

隣りの車線への車線変更を考え、B レーンにいる前方車、前々車との間にも同様な前進速度を見積もる。

1 Accerelation

$$V_{ABi}^{(1)} = V_{max} \quad (7)$$

2 Slow-to-acceleration

$$V_{ABi}^{(2)} = \min(V_{ABi}^{(1)}, X_{Bi+2}^{t-1} - X_{Ai}^{t-1} - 2) \quad (8)$$

3 Deccelaration due to other cars

$$V_{ABi}^{(3)} = \min(V_{ABi}^{(2)}, X_{Bi+2}^t - X_{Ai}^t - 2) \quad (9)$$

4 Avoidance of collision

$$V_{ABi}^{(4)} = \min(V_{ABi}^{(3)}, X_{Bi+1}^t - X_{Ai}^t - 1 + V_{ABi+1}^{(3)}) \quad (10)$$

更に、車線変更した場合、隣車線後方車との衝突が起こらない安全距離を見積もる。

1 Accerelation

$$V_{ARI}^{(1)} = V_{max} \quad (11)$$

3 Deccelaration due to other cars

$$V_{ARI}^{(3)} = \min(V_{ARI}^{(2)}, X_{Bi+2}^t - X_{Bi}^t - 2) \quad (12)$$

4 Avoidance of collision

$$V_{ARI}^{(4)} = \min(V_{ARI}^{(3)}, X_{Bi+1}^t - X_{Bi}^t - 1 + V_{ABi+1}^{(3)}) \quad (13)$$

ここで、隣車線後方車の前進には、slow-to-acceleration 効果を考慮せず、素早く反応をす  
るとしておいた。 前進、車線変更ルールとして、車線変更確率  $r$  を導入し、

$V_{Ai}^{(4)} < V_{ABi}^{(4)}$  and  $X_{Ai}^t + V_{ABi}^{(4)} > X_{Bi}^t + V_{ARI}^{(4)}$  のとき、

$$X_{Bi}^{t+1} = X_{Ai}^t + V_{AB}^{(4)} \quad (\text{lane change probability } r) \quad (\text{車線変更})$$

$$X_{Ai}^{t+1} = X_{Ai}^t + V_{Ai}^{(4)} \quad (1-r) \quad (\text{前進}) \quad (14)$$

これ以外は、

$$X_{Ai}^{t+1} = X_{Ai}^t + V_{Ai}^{(d)} \quad ((\text{前進})) \quad (15)$$

前進する。BレーンについてもAをBに置き換えた同じ式を考える。これらのルールの下、シミュレーションを行って、基本図を求めた。

### 3 交通流基本図における準安定分枝

最高速度  $V_{\max}=5$ ,  $S=2$ ,  $D=2$ , で車線変更確率  $r=0.1$ 、両車線上の始期車両数は、同じにした(セル長  $K=42$ , 周期境界条件) 場合の基本図を、図1に示した。両車線の平均流量は、1車線の場合と同様に、臨界車両濃度( $\rho=1/6$ )以下では、車流量  $flow$  は両車線で自由流となり、それ以上の濃度でも準安定自由流となる。また同時に臨界濃度以上で、 $flow$  は複雑な時間変動をする。これらの  $flow$  の時間平均を示したのが、図2で、準安定分枝の存在を示す。

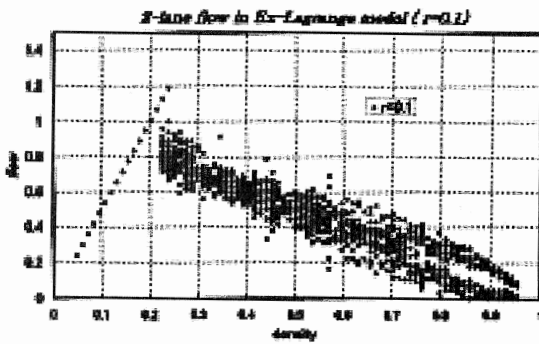


図1

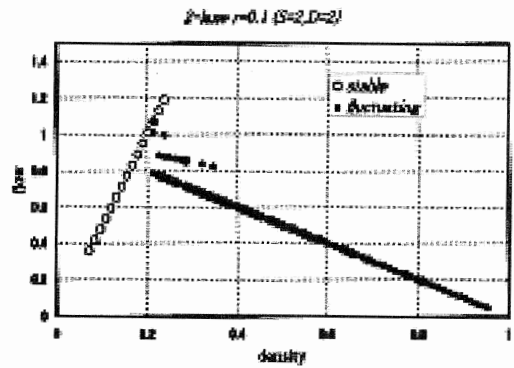


図2

これらの分枝は、1車線の場合と同じと思われ、

$$flow = \frac{S}{D}(1-\rho) + \left(\frac{D-1}{D}\right)n\rho \quad (n=0, 1, 2, \dots, V_{\max}-1) \quad (16)$$

で表される。

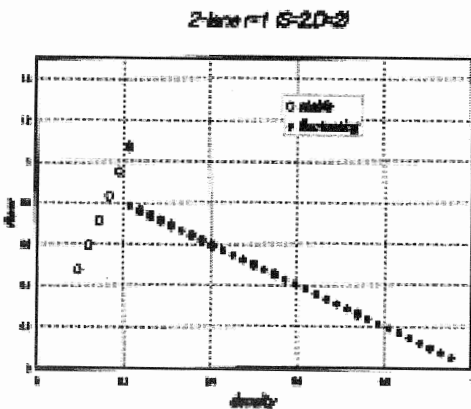


図3

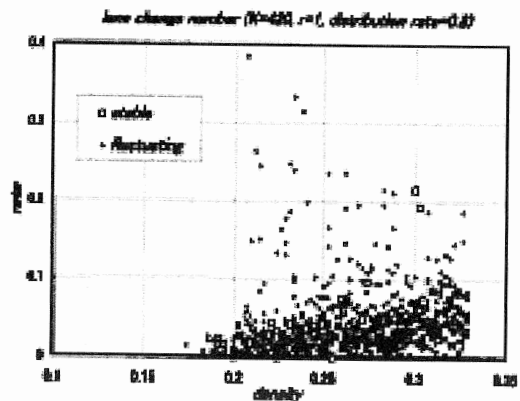


図4

$r = 1$  (deterministic 車線変更)の場合について同様なシミュレーションの交通流基本図を図3に示す。Flowは自由流と渋滞流のみになる。 $r = 1$ の場合は、条件が満たされれば、車線変更をする。そのことによって、最も安定な状態に緩和していくと思われる。そのため、時間が経つと準安定分岐にあるflowは全て基底交通流状態である渋滞に収束していくと考えられる。図4は、 $r = 1$ の場合の車線変更割合を示していて、渋滞状態では、車の初期配列に応じて、色々な車線変更過程をしながら前進していることをうかがわせる。その他、見込み走行による衝突についての詳細も報告する。

#### 参考文献

- [1] K.Nishinari J. Phys. A 34(2001) 10727.
- [2] K..Nishinari, M.Fukui and A.Schadschneider, J.Phys.A (2003)
- [3] K.Nishinari, D.Takahashi, J.Phys. A31(1998) 5439.
- [4] K.Nishinari, D.Takahashi, J.Phys. A32(1999) 93.
- [5] T.Tokihiro, D.Takahashi, J.Matsukidaira, J.Satsuma, Phys. Rev. Lett. 76 (1996) 3247.
- [6] K.Nishinari, D.Takahashi, J.Phys. A33(2000) 7709.
- [7] J.Matsukidaira and K.Nishinari, Phys. Rev. Lett. 90(2003) 088701
- [8] M.Fukui, Y.Ishibashi, J.Phys. Soc. Jpn.65(1996) 1868.